

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平9-204524

(43) 公開日 平成9年(1997)8月5日

(51) Int.Cl. ⁴	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 6 T 7/00			G 0 6 F 15/62	4 1 5
G 0 6 F 15/18	5 6 0		15/18	5 6 0 C
			15/70	4 6 0 C

審査請求 未請求 請求項の数3 O L (全 10 頁)

(21) 出願番号 特願平8-12525

(22) 出願日 平成8年(1996)1月29日

(71) 出願人 000000376

オリンパス光学工業株式会社

東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号

(72) 発明者 白谷文行

東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号オリン

パス光学工業株式会社内

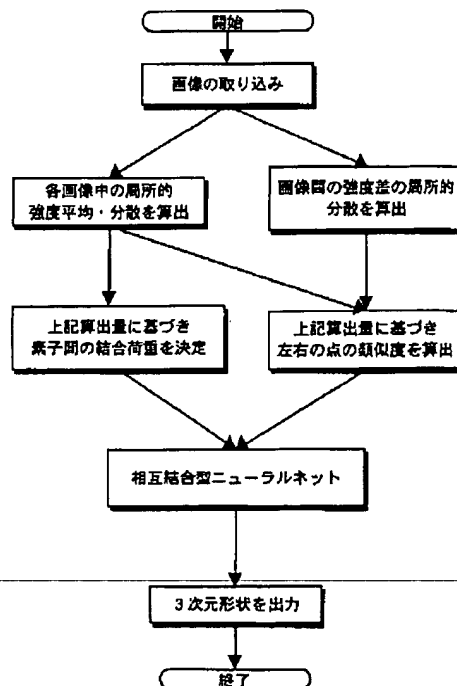
(74) 代理人 弁理士 荏澤 弘 (外7名)

(54) 【発明の名称】 3次元形状認識装置

(57) 【要約】

【課題】 強度変化が激しい領域と緩やかな領域を含む自然画像に対してもより確度の高い視差抽出を行い、物体の3次元形状を正確に把握する。

【解決手段】 視差のある2枚の画像が取り込まれ、各画像内で画素毎にその近傍での画素強度平均及び分散の値が算出され、両画像間で一方をシフトした際の画素間強度差の局所的な分散の値が算出され、前者に基づいてニューラルネットの素子間の興奮性及び抑制性の結合荷重を決定する際、興奮性結合は個々の画像の局所的な画素強度平均もしくは分散の近傍画素間での類似度に基づき決定される。また、両算出結果に基づいて一方の画像をシフトした際の類似度の値が算出され、ニューラルネットでこれらの値をもとに左右の画像中の画素の対応関係が決定され、1を出力している素子の位置が3次元形状を表すことになる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 画像入力部、画像内・画像間演算部、結合荷重決定部、類似度算出部、対応決定・3次元形状出力部から構成される3次元形状認識装置であって、画像入力部は、レンズ系、受光部及びメモリからなり、

画像内・画像間演算部は、前記画像入力部から取り込んだ左右2枚の画像中の個々の画素に対して該画素の近傍から構成されるテンプレートを具備し、個々の画像内の全画素のテンプレート中の画素強度平均及び分散、並びに、左右一方の画像を横にシフトする毎に左右画像間での画素強度の差の局所的な分散の値を算出する手段を具備し、

結合荷重決定部は、対応決定・3次元形状出力部を構成する相互結合型ニューラルネットの素子間の結合荷重を決定する手段を具備し、

類似度算出部は、画像内・画像間演算部から送られる情報に基づき画像間での局所的な類似度を算出する手段を具備し、

対応決定・3次元形状出力部は、抑制性及び興奮性の結合からなる相互結合型ニューラルネットから構成される3次元形状認識装置において、

前記結合荷重決定部は、前記画像内・画像間演算部において個々の画像中の画素に対して算出された強度平均あるいは分散の値の近傍画素間での類似度に応じてニューラルネットの素子間の興奮性結合の値を決定することを特徴とする3次元形状認識装置。

【請求項2】 請求項1記載の類似度算出部は、一方の画像をシフトした際の左右の画素間強度差の局所的な分散の値及び個々の画像中のテンプレート中での分散の値に基づいて左右画像間の局所的な類似度を算出し、しかも、その評価基準を少なくとも一方の画像中のテンプレート中での分散の値に応じて可変にすることを特徴とする3次元形状認識装置。

【請求項3】 請求項1記載の画像内・画像間演算部は、個々の画像中の画素に対して算出された分散の値が所定の値より小さい時には、強度平均の画像中での極大点あるいは分散の画像中での極大点まで、もしくは、分散の値が所定の値より小さい範囲で前記テンプレートの大きさを拡大し、かつ、その拡大過程において、左右画像間での分散の値が類似していないものを対応候補から排除して行くことを特徴とする3次元形状認識装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、3次元形状認識装置に関し、特に、3次元形状を認識するロボットの視覚への応用等が可能な3次元形状認識装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】左右画像の点と点の対応関係を見出せ

ば、そのずれから相対的な奥行きを計算することは容易である。問題は、いかにしてその対応関係を見出すかにある。ニューラルネットを用いた左右画像間の点の対応関係決定機構については、D. Marrの協調的アルゴリズム等にあるように、左右画像の各画素に対応するよう3次元的にニューロン素子を配置し、大きさ一定のテンプレート（ウィンドウ）内にある画素間の画素強度の類似度を素子への入力とするものであった。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】この時、以下の問題が生じる。少なくとも一方の画像中の画像強度変化が激しい領域では、左右画像間の対応候補点が比較的絞り込みやすいのに対して、画像強度変化が緩やかな領域では対応候補点を絞り込み難い。従来技術では、画像強度変化が激しい領域と緩やかな領域とを特に意識せず、それらに対して同一の処理方式をとっていたため、強度変化が激しい領域と緩やかな領域を含む自然画像に対して良好な結果が得られ難かった。この原因は、画像強度変化に依存しない機構、すなわち、連続性の拘束条件を空間に一律に導入していること、さらには、画像強度変化に依存しない大きさ一定のテンプレート並びに類似度の評価基準を設定しているためと考えられる。

【0004】本発明は従来技術のこのような事情に対処すべくなされたもので、その目的は、強度変化が激しい領域と緩やかな領域を含む自然画像に対してもより確度の高い視差抽出を行い、物体の3次元形状を正確に把握することができる3次元形状認識装置を提供することである。

【0005】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成する本発明の3次元形状認識装置は、画像入力部、画像内・画像間演算部、結合荷重決定部、類似度算出部、対応決定・3次元形状出力部から構成される3次元形状認識装置であって、画像入力部は、レンズ系、受光部及びメモリからなり、画像内・画像間演算部は、前記画像入力部から取り込んだ左右2枚の画像中の個々の画素に対して該画素の近傍から構成されるテンプレートを具備し、個々の画像内の全画素のテンプレート中の画素強度平均及び分散、並びに、左右一方の画像を横にシフトする毎に左右画像間での画素強度の差の局所的な分散の値を算出する手段を具備し、結合荷重決定部は、対応決定・3次元形状出力部を構成する相互結合型ニューラルネットの素子間の結合荷重を決定する手段を具備し、類似度算出部は、画像内・画像間演算部から送られる情報に基づき画像間での局所的な類似度を算出する手段を具備し、対応決定・3次元形状出力部は、抑制性及び興奮性の結合からなる相互結合型ニューラルネットから構成される3次元形状認識装置において、前記結合荷重決定部は、前記画像内・画像間演算部において個々の画像中の画素に対して算出された強度平均あるいは分散の値の近傍画

素間での類似度に応じてニューラルネットの素子間の興奮性結合の値を決定することを特徴とするものである。

【0006】この場合、類似度算出部は、一方の画像をシフトした際の左右の画素間強度差の局所的な分散の値及び個々の画像中のテンプレート中での分散の値に基づいて左右画像間の局所的な類似度を算出し、しかも、その評価基準を少なくとも一方の画像中のテンプレート中での分散の値に応じて可変にするものとすることができる。

【0007】また、画像内・画像間演算部は、個々の画像中の画素に対して算出された分散の値が所定の値より小さい時には、強度平均の画像中での極大点あるいは分散の画像中での極大点まで、もしくは、分散の値が所定の値より小さい範囲で前記テンプレートの大きさを拡大し、かつ、その拡大過程において、左右画像間での分散の値が類似していないものを対応候補から排除して行くものとすることができる。

【0008】以下、図4及び図5を用いて上記の本発明における処理の流れと作用を説明する。まず、最初に、画像入力部において、同一方向の異なる視点から観察される2枚の画像の強度情報が取り込まれる。次に、画像内・画像間演算部において、個々の画像内では、画素毎にその近傍での画素強度平均及び分散の値が算出され、2つの画像間では、一方の画像をシフトした際の画素間強度差の局所的な分散の値が算出される。前者は結合荷重決定部に送られ、類似度算出部には両方の値が送られる。

【0009】結合荷重決定部では、例えば後記する実施例1で説明するように、ニューラルネットの素子間の興奮性及び抑制性の結合荷重が決定されるが、特に興奮性結合の方は、個々の画像の局所的な画素強度平均もしくは分散の近傍画素間での類似度に基づきその値が決定される。

【0010】類似度算出部では、一方の画像をシフトした際の画素間強度差の局所的な分散の値、及び、個々の画像の局所的な分散の値を基に類似度の値を算出し、この値を図5に示すような動作をするにニューラルネットの各素子へバイアスとして常時流入させる。

【0011】ニューラルネットの各素子には、このバイアス以外にも、他の素子の出力に結合荷重決定部で設定された結合荷重が掛け合わされた値が毎時流入する。これらの入力値をもとに、各素子は内部状態を更新し、新たな値を出力する。この出力値に結合荷重が掛け合わされ、これが再び他の素子への入力となる。この処理を順次繰り返して行く。

【0012】この更新を少し詳細に説明すると、前回の内部状態が減衰率 γ で減衰した値に前記の入力値を加えて新たな内部状態とし、この内部状態にパラメータ s により傾きが制御されるような伝達関数を施した値が素子の新たな出力となる。パラメータ γ 、 s の値を例えば後記する実施例1で説明するように徐々に変化させる一方、このような素子の状態更新を素子の出力が定常状態に落ち着くまで繰り返して行く。定常状態に落ち着いた時、左右の画像中の画素の対応関係が決定され、1を出力している素子の位置が対象物体表面の3次元形状を推定していることになる。

【0013】

【発明の実施の形態】以下、本発明の3次元形状認識装置をいくつかの実施例に基づいて説明する。

〔第1実施例〕図1は、本発明の3次元形状認識装置の1実施例を説明するための図である。図1において、本装置は、画像入力部11、画像内・画像間演算部12、結合荷重決定部13、類似度算出部14、対応決定・3次元形状出力部15から構成されている。以下、各処理の過程を説明して行く。

【0014】まず、最初に、画像入力部11は、左右一対のレンズ系L1、L2、受光部D1、D2及び不図示のメモリーからなり、対象物体Sの同一方向の異なる視点から観察される2枚の画像の強度情報が取り込まれる。次に、画像内・画像間演算部12において、図4に示すように、個々の画像内では、画素毎にその近傍での画素強度平均及び分散の値が算出され、2つの画像間では、一方の画像をシフトした際の画素間強度差の局所的な分散の値が算出される。前者は結合荷重決定部13に送られ、類似度算出部14には両者が送られる。結合荷重決定部13では、ニューラルネットNの素子間の興奮性及び抑制性の結合荷重が決定されるが、特に興奮性結合の方は、個々の画像の局所的な画素強度平均もしくは分散の近傍画素間での類似度に基づき決定される。

【0015】以下、結合荷重決定部13における、ニューロン素子間の結合荷重の決定方法、及び、類似度算出部14における、ニューロン素子への外部バイアスの決定法を説明する。図2において、ある1つのニューロン素子□に着目した場合のニューロン素子間の抑制性結合、興奮性結合を説明するための図である。これらの結合はそれぞれ次のような物理的な拘束条件(1)、(2)、(3)、(4)を実現するものである。

【0016】(1)1つの画像中の1点は、他方の画像中の高々1点とのみ整合する(一意性の拘束条件)。

5

6

$$E_1 = \sum_{h=1}^N \left[\sum_{j=1}^N \left(\sum_{i=1}^N x_{i,j,h} - 0.5 \right)^2 + \sum_{i=1}^N \left(\sum_{j=1}^N x_{i,j,h} - 0.5 \right)^2 \right]$$

ここで、 i, j, h は図2中に示した座標方向、 $x_{i,j,h}$ は素子 (i, j, h) の出力、 D は最大視差、 N は1次元方向の画素数である。この拘束条件を満たす*

*めには、 E_1 が所定の値であればよい。

【0017】(2) 左右画像間の対応の順序を変えない(順序保存性の拘束条件)。

$$E_2 = \sum_{h=1}^N \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^N \sum_{(i1,j1) \in S} x_{i1,j1,h} x_{i,j,h}$$

ここで、 $i1, j1$ はそれぞれ i, j の近傍を意味する。 E_2 式の一番内側の Σ 記号は、図2でコーン内の Δ で示されるような全ての素子について和をとることを意味する。この拘束条件を満たすためには、特別な場合以外は、 E_2 がゼロであればよい。 ※

※【0018】(3) 画素強度の局所的な分散の値が近傍画素間で類似していれば、それに対応する素子も互いに協調しよう(画像の分散の類似性に基づく連続性の拘束条件)。

$$E_3 = \sum_{h=1}^N \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^N \sum_{s \in S} \alpha_{(i,j,h)+s} (x_{i,j,h} - x_{(i,j,h)+s})^2$$

ここで、 S は図2中の□で表されるニューロン素子の近傍に位置する○で表されるニューロン素子の集合を表すインデックスセットである。 α は画像の強度変化に応じて決定される結合荷重であり、例えば次式で与えられる。なお、この拘束条件を満たすためには、 E_3 が小さい値であればよい。

【0019】 $\alpha_{(i,j,h)+s} = \min(\text{Var}R_{i,h}, \text{Var}R_{(i,j,h)+s}) / \max(\text{Var}R_{i,h}, \text{Var}R_{(i,j,h)+s}) \times \min(\text{Var}L_{i,h}, \text{Var}L_{(i,j,h)+s}) / \max(\text{Var}L_{i,h}, \text{Var}L_{(i,j,h)+s})$

★ j, h の h ＝一定である例えば 3×3 近傍内の画素強度値を成分とするベクトルであり、 $\text{Var}R, \text{Var}L$ はそれぞれベクトル R, L の分散を表す。分散の代わりに、平均を用いてもよい。すなわち、素子 (i, j, h) と素子 $(i0, j0, h0)$ との結合荷重は、左画像中の画素 (i, h) での分散と画素 $(i0, h0)$ での分散の類似度、及び、右画像中の画素 (i, h) での分散と画素 $(i0, h0)$ での分散の類似度から決定される。

ここで、 R, L はそれぞれ右及び左の画像の点 (i, j) の

【0020】また、外部からのバイアスは、次の拘束条件を表現している。

(4) 同じ特徴を持ったもののみが整合する。

$$E_4 = \sum_{h=1}^N \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^N [1 - \text{Var}(R_{i,h} - L_{i,h}) / (\text{Var}R_{i,h} + \text{Var}L_{i,h})] \times x_{i,j,h}$$

以上の条件は、次の形の評価関数で表される(A, B, C, D は任意の定数)。

☆【0021】

$$E = AE_1 + BE_2 + CE_3 + DE_4 \quad \dots (1)$$

上式と次のエネルギー関数(2)式とを係数比較して結合荷重 W_{ijhlmn} 及びバイアス θ_{ijh} が決定される。 ◆40

◆【0022】

$$E = -1/2 \sum_{i,j,h} \sum_{l,m,n} W_{ijhlmn} x_{i,j,h} x_{l,m,n} - \sum_{i,j,h} \theta_{ijh} x_{i,j,h} \quad \dots (2)$$

続いて、ニューラルネットの状態更新手順について説明する。図3(a)、(b)において、1はニューラルネット、2は演算評価部、3はパラメータ設定部、4は総入力演算部、5、6は演算部、1-1~nは素子を表している。ニューラルネット1は、 n 個の素子1-1~nからなる相互結合型ニューラルネットであり、 m 個にブロック (I_1, I_2, \dots, I_m) に分割されている。演* 50

*算評価部2は、ニューラルネット1を構成する各素子1-1~nの出力状態を入力して評価を行うものである。この評価では、例えばエネルギー関数を求め、時刻 t と時刻 $t+1$ での比較を行って変化がないことを条件に終了する。パラメータ設定部3は、演算評価部2の評価結果に基づいてニューラルネット1を構成する各ブロック内の素子1-1~nの伝達関数の傾きを制御するパラメ

ータ s 、及び、前回の内部状態の減衰率を制御するパラメータ γ の値を次の(3)、(4)式の範囲で変化させ*

$$(1+\gamma)s \geq -\lambda_k$$

$$T = (1-\gamma)s \rightarrow 0 \quad (t \rightarrow \infty)$$

ここで、 λ_k はニューロン素子結合行列 W の対角ブロック行列 W_{kk} の最小固有値である。

【0024】ニューラルネット1を構成する各ブロックは、例えば図3(b)に示すように、総入力演算部4、演算部5、6から構成される。総入力演算部4は、各ブ

*で設定するものである。

【0023】

$$\dots (3)$$

$$\dots (4)$$

※ロック出力状態 $x^{(k)}$ と結合行列 w_{kj} と入力バイアス $\theta_j^{(k)}$ から、次の(5)式で求められる総入力を計算するものである。

【0025】

$$u_i(t+1) = \gamma u_i(t) + \sum_{j=1}^n w_{ij} z_j + \theta_i \quad \dots (5)$$

$$x_i(t+1) = f(u_i(t+1)/s) \quad \dots (6)$$

$$z_j = x_j(t+1) \quad \text{if } j \in I_1 \cup \dots \cup I_{k-1}$$

$$z_j = x_j(t) \quad \text{if } j \in I_k \cup \dots \cup I_m$$

ここで、 $f(\quad)$ は伝達関数である。演算部5は、内部状態 $u^{(k)}$ に減衰率制御パラメータ $(1-\gamma)$ を乗じたものと総入力とを加算する上記(5)式の演算を行うものであり、演算部6は、演算部5の出力に(6)式の伝達関数 $f(\quad)$ を施すものである。したがって、パラメータ設定部3では、制御パラメータ γ 及び s の制御を演算部5、6に対して行うことになる(詳しいことは、特願平6-91070号、特願平6-91071号参照)。

【0026】次に、制御パラメータの値の範囲を前記(3)、(4)式の範囲で変化させる。さて、上記評価関数の係数を例えば $A=B=D=1.0$ 、 $C=3.0$ のように定めて、ネットワークの全ての素子の初期状態を例えば0.0で与える。

【0027】それから、素子の状態を次々と更新して行きつつ、一方でパラメータの値を変化させる。その1方法として、次のような方法をとった。

【0028】状態の更新回数を j で表す時、 $\gamma=0$ にとり、 s だけを次式にしたがって変化させる。

$$s = 4.0 - 0.08j$$

こうして、ニューラルネットを動作させ、平衡状態に達した時点で、1を出力している素子の位置が対象物体表面の3次元形状の解を与える。

【0029】具体的に、床に置いた球体について、画像入力部11において平行に配置されたカメラから取り込んだ2枚の自然画像から、本発明の方法により3次元形状を推定した。比較のため、従来の画像強度に依存しない手法により同じ3次元形状を推定した。物体の輪郭の★

$$E_k = \sum_{h=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n [1 - \text{Var}(R_{i,j,h} - L_{i,j,h}) / \text{Var} R_{i,j,h}] x_{i,j,h}$$

$\text{Var} R < \Phi$ の時、

★崩れ具合等から分かるように、前者のほうが後者よりも精度良く3次元形状を推定していた。この結果から、本発明の有効性が確認できた。

20 【0030】〔第2実施例〕第1実施例では、類似度の評価基準を固定にして説明したが、この第2実施例では、少なくとも一方の画像のテンプレート中の強度変化に応じて、評価基準を可変にして類似度を判定する。

【0031】画素強度の変化が激しいところでは、左右の画像中の2点に用意したテンプレート中の画素間の強度差の分散が小さくなったら、対応候補にすることができる。一方、画素強度の変化が緩やかなところでは、真の対応点であっても2つのテンプレート中の画素間の強度差の分散が逆にやや大きくなることもあり得るので、

30 評価基準を可変にして類似度を判定する。

【0032】そこで、左右画像中の各点にそれぞれテンプレートを設け、少なくとも一方の画像中の画素に用意したテンプレート中の画素強度の分散が大きい時には、左右2つのテンプレート間での画素強度の差をとり、その分散が大幅に減少する時に2つの比較した点を対応候補となる評価基準を採用する。一方、少なくとも一方の画像中の画素に用意したテンプレート中の画素強度の分散が小さい時には、2つのテンプレート中の画素間の強度差の分散が大きくなるものを排除しないような評価基準を用いる。

【0033】例えば、右画像の局所的な分散の大小によって、次のように2つの評価基準を設ける。

$\text{Var} R > \Phi$ の時、

$$E_4 = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^N [1 - \text{Var}(R_{i,j,k} - L_{i,j,k}) / 2 \text{Var} R_{i,j,k}] x_{i,j,k}$$

このエネルギー関数からバイアスを定め、後は第1実施例と全く同様にして解を得ることができる。

【0034】〔第3実施例〕第1実施例においては、テンプレートの大きさを固定にして説明したが、個々の画像中の画素強度の局所的な分散が所定の値より小さいところでは、画素強度平均の画像中での極大点もしくは画素強度の分散の画像中での極大点まで、もしくは、画素強度の局所的な分散が所定の値より小さい範囲でテンプレートの大きさを拡大し、その拡大過程において、個々の画像中の局所的な分散の値が左右で類似していないものを対応候補から排除していくことをこの第3実施例では行う。

【0035】左右画像中の各点にそれぞれテンプレートを設け、少なくとも一方の画像中の画素に用意したテンプレート中の画素強度の分散が所定の値より大きい時には、左右2つのテンプレート間での画素強度の差をとり、その分散が大幅に減少する時に2つの比較した点を対応候補とする。

【0036】そして、テンプレート中の画素強度の分散が所定の値より小さい時には、画素強度の分散の値が小さいような範囲で、もしくは、画素強度平均の画像中での極大点もしくは画素強度の分散の画像中での極大点までテンプレートの大きさを拡大する。その拡大過程において、左右2つのテンプレート間での画素強度の差をとり、その分散の値が極端に大きくなってしまふもの（例えば、画素強度の差の分散が一方の画像での分散の2倍を超えるもの）を対応候補から除外する。あるいは、個々の画素に対して算出された分散の値が左右で極端に違うものを対応候補から除外する。こうした消極的な絞り込みを行い、後は連続性と順序保存性及び一意性の拘束条件に委ねて、第1実施例と同様にして解を得る。

【0037】

【発明の効果】以上の説明から明らかなように、本発明によれば、個々の画像中の画素強度の局所的な平均もしくは分散の近傍画素間での類似度に応じて、素子間の興奮性結合を適応的に設定するので、不連続部分を保存しつつ、連続部分を再現することを容易に行うことができる。しかも、一方の画像をシフトした際の左右の画素間*

*強度差の局所的な分散及び個々の画像中の画素強度の局所的な分散に応じて左右画素間の類似度を決定し、さらには、個々の画像中の画素強度の局所的な分散が小さいところでは、画素強度平均の画像中での極大点もしくは画素強度の分散の画像中での極大点まで、もしくは、画素強度の局所的な分散が小さい範囲でテンプレートの大きさを拡大し、その拡大過程において、個々の画像中の局所的な分散の値が類似していないものを対応候補から排除して行くので、強度変化が激しい領域と緩やかな領域を含む自然画像に対しても、より高い確度で3次元形状を確認することが可能になった。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の3次元形状認識装置の1実施例の構成を説明するための図である。

【図2】第1実施例におけるニューラルネットを説明するための概略構成図である。

【図3】本発明におけるニューラルネットの状態更新過程を表す概略構成図である。

【図4】本発明において処理過程を説明するための流れ図である。

【図5】相互結合型ニューラルネットの動作を説明するための流れ図である。

【符号の説明】

1…ニューラルネット

2…演算評価部

3…パラメータ設定部

4…総入力演算部

5、6…演算部

1-1～1-n…素子

11…画像入力部

12…画像内・画像間演算部

13…結合荷重決定部

14…類似度算出部

15…対応決定・3次元形状出力部

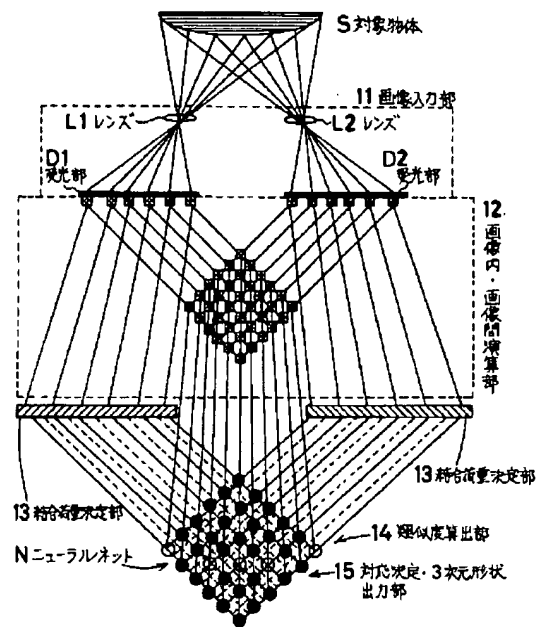
S…対象物体

N…ニューラルネット

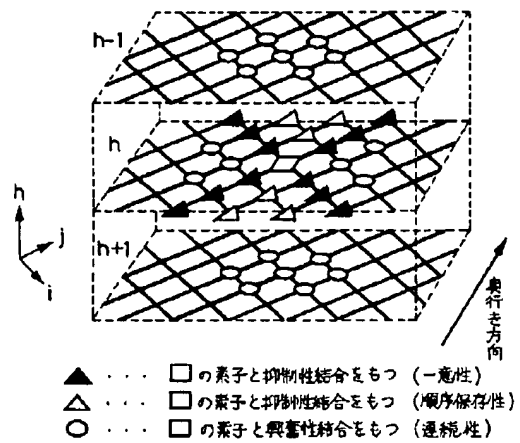
L1、L2…レンズ系

D1、D2…受光部

【図1】

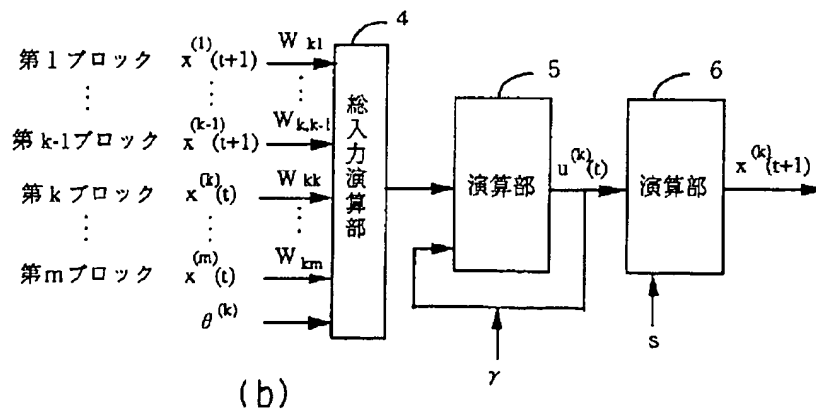
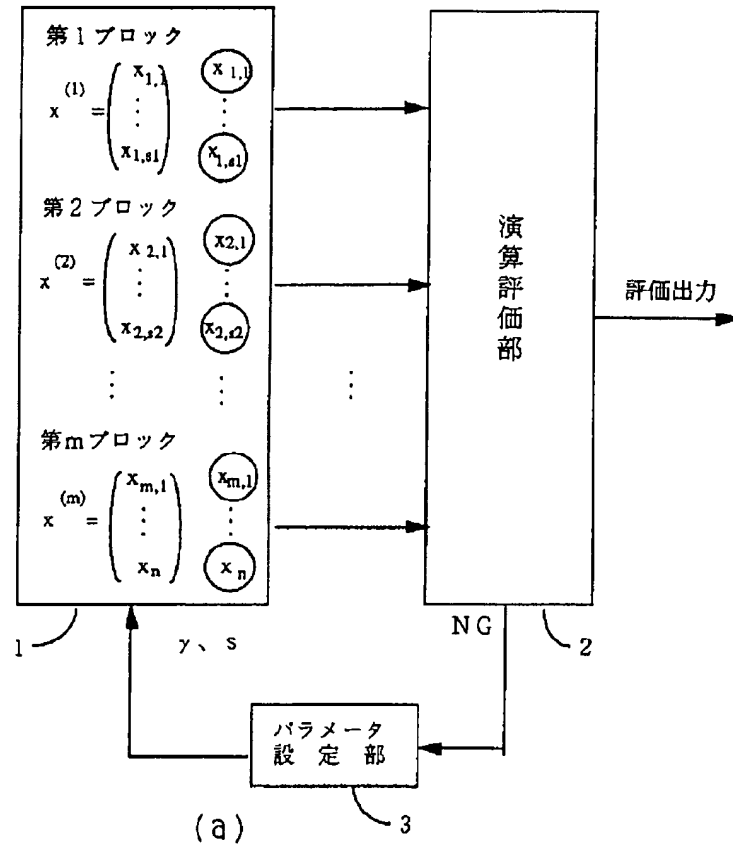


【図2】

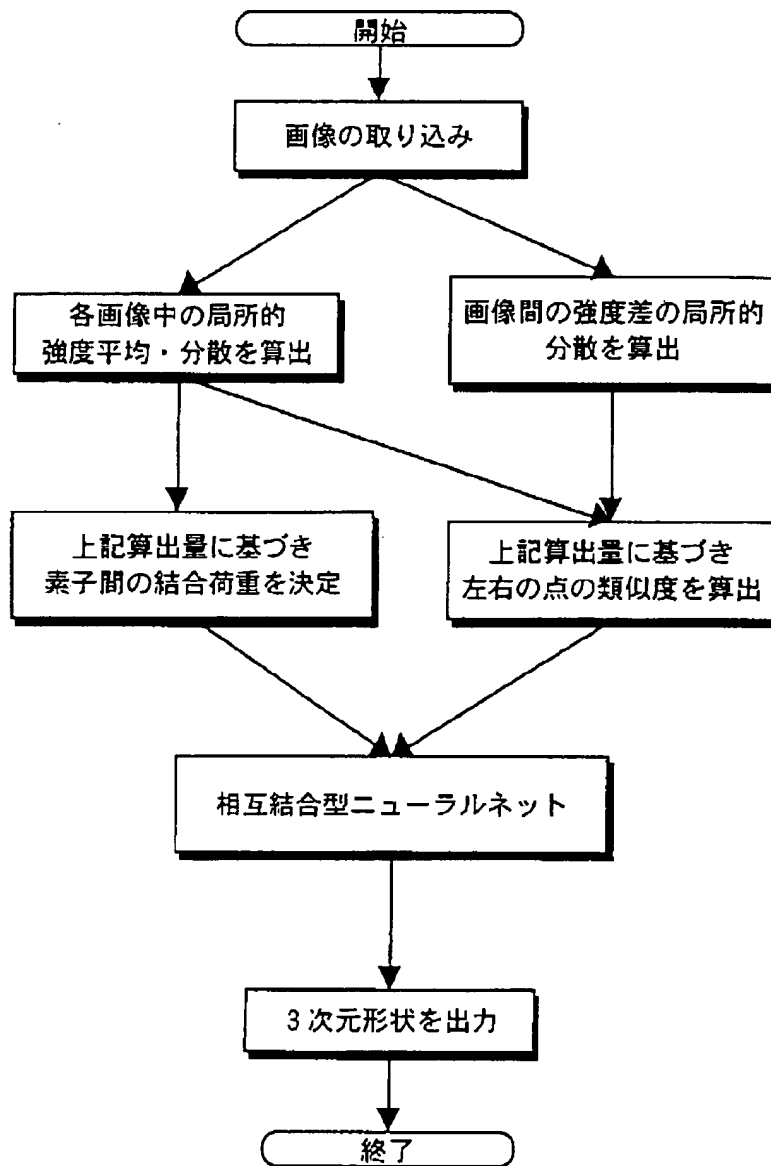


【図3】

ニューラルネット



【図4】



【図5】

